

光学系统设计技巧

郑保康

(云南北方光学电子集团有限公司 昆明 650014)

(续 2004.No.1)

§3.4.1 用光学传递函数作为质量评价标准

3 电影放映物镜的评价

电影放映是将电影拷贝上的画面,通过放映物镜,投影到银幕上供观众观赏。它与电影摄影物镜有着密切联系,摄影物镜拍摄下来的胶片,经洗印而得到电影放映胶片,供电影放映物镜放映之用。从前的分析可知,35mm 电影摄影物镜的特征频率为 20 线对/mm,而且数据的得到是从放映效果出发的。为了与电影摄影物镜相匹配,也取 20 线对/mm 作为 35mm 放映物镜的特征频率。

对于变焦距放映物镜的特征频率,可作适当降低。从人眼最佳观察频率 8 周/度(或 7.5') 考虑,取分辨角 8', 计算得到特征频率 13.5 线对/mm。因此,我们取 13.5 线对/mm 作为 35mm 变焦距放映物镜的特征频率。

放映物镜在特征频率下的调制传递函数应该不低于多少为合适呢?由电影胶片的调制度与人眼分辨低对比度的能力而定。人眼分辨低对比的能力随着目标物的亮度而异。

从人眼分辨光能量差别考虑,亮度差

15% 是能被人眼发现的,就是说它们的对比为 1 : 0.85。此时,人眼要求目标的调制度 $M = \frac{1 - 0.85}{1 + 0.85} = 0.081$ 。从前面的计算可知,用来放映的电影胶片的调制度最低为 0.163。胶片上 0.163 的调制度,经过放映物镜放映后,要被人眼接收,在银幕上的调制度(或称对比度)应该大于或等于 0.081。考虑到放映物镜至银幕这段空气传递和银幕面上的散射等因素,取其传递值 $MTF_{幕} = 0.8$ 。因此,特征频率下物镜应该具有的调制传递函数为

$$MTF = \frac{M_{眼}}{M_{胶片} \times MTF_{幕}} = \frac{0.081}{0.163 \times 0.8} = 0.62$$

0.7y' 的视场处 MTF 值允许比轴上点有所降低。从设计的角度考虑,0.7y' 处的象质肯定没有轴上点好。那末,0.7y' 处的 MTF 值允许降低到什么程度呢?从人眼的特性看,影片的主题在画面的中央,人眼注视画面中央,对视场边缘的观察就不可能仔细,因而允许降低象质要求,当人眼仔细观察视场边缘区时,也应能看清,而不感到特别模糊,或者说也不感到与中央区有很大的差别。人眼对 0.05 的调制度还是能看清的,取放映在银幕上的调制度 $M = 0.05$ 作为 0.7y' 处计算的依据,则

$$MTF = \frac{0.05}{0.163 \times 0.8} = 0.38$$

综上所述,提出 35mm 电影放映物镜

MTF 的检验指标:

位置	MTF	频率	20 线对/mm
轴上			62%
0.7y'			38%

考虑到物镜的制造误差,提出 35mm 电影放映物镜的 MTF 设计指标:

位置	MTF	频率	20 线对/mm
轴上			72%
0.7y'			48%

4、精缩制版物镜的评价

精缩制版物镜是用于照相制版的最后一道工序,即对初缩制版得到的中间版进行精缩照相。它可以用来拍摄各类分划板、各类鉴别率板,也可以用于光刻照相。这类物镜的使用,其图案均有极细小的线条和较高的调制度。因此,这类物镜要求有高的截止频率,而低频部分的 MTF 值不必很大。此外,为了保证图案线条的正确性,要求具有较小的畸变,同时还要十分注意物镜的相位传递函数 PTF 值,因为 PTF 值影响图案线条的正确性。

精缩制版物镜拍摄的对象是高对比的图案,因而只需要考虑 MTF 的截止频率取在什么地方。截止频率的选取是根据被拍摄图案的线条粗细而定。如要求能拍摄 2μ 宽度的细线,则物镜的“截止频率”为

$$n = \frac{1}{2\mu \times 2} = \frac{1}{0.002 \times 2} = 250 \text{ 线对/mm}$$

把它写成一般式子

$$n = \frac{1}{2a} (\text{线对/mm}) \quad \dots\dots (3.64)$$

式中 n —胶片上图案每毫米的线对数。

a —要求拍摄在胶片上的图案线条宽

度(单位:毫米)

在“截止频率”下物镜的 MTF 值是多少呢?它不能是零,而应是感光材料能分辨的极限值。目前感光材料的性能各不相同,能分辨的极限值也有所差别,这里的“截止频率”还是按 $M = 0.163$ 考虑。调制度 $M_1 = 1$ 的中间板图案,经精缩制版物镜成象,得到调制度 $M_2 = 0.163$ 的图案象,要求物镜的调制传递函数 MTF 为

$$MTF = \frac{M_2}{M_1} = \frac{0.163}{1} = 0.163$$

精缩制版物镜一般要求严格控制畸变量,因而对 PTF 也提出严格的要求,一般认为 PTF 值小于或等于 $\frac{\pi}{3}$ 是允许的。因为 PTF 值为 $\frac{\pi}{3}$,其意义为黑白相间的线条,黑线条从原来的正确位置离开了 $\frac{1}{3}$,离开原来正确位置三分之一线宽,认为基本上还在原来位置。

综上所述,提出精缩制版物镜的光学传递函数 OTF 的检验指标为:

传函值	频率	$\frac{1}{2a}$ 线对/mm
OTF		
MTF*		17%
PTF*		$\frac{\pi}{3}$

考虑到物镜的制造误差,提出精缩制版物镜的光学传递函数 OTF 的设计指标为:

传函值	频率	$\frac{1}{2a}$ 线对/mm
OTF		
MTF*		25%
PTF*		$\frac{\pi}{3}$

* 在使用的视场范围内均应达到指标值

5、红外、微光系统的评价

帮助人眼进行观察的光学仪器,如放大镜、显微镜、望远镜等,使用这类仪器时,

从目标所得到的光能通常是足够大的,以致于分辨目标细节的能力,仅仅受光学系统的传递特性以及观察者眼睛的视觉特性的限制。但是,当目标亮度很低,人眼的视觉分辨率显著下降时,就必须采用光增强技术才能看清目标。红外、微光仪器就是采用了象增强器,在低照度下能工作的光学仪器。

这类仪器分辨目标的能力主要取决于以下几个方面:(1) 目标的亮度和对比度;(2) 物镜的通光口径和物镜的调制传递能力;(3) 象增强器的调制传递能力;(4) 目镜的调制传递能力;(5) 人眼的分辨能力。

微光仪器其目标物的亮度决定于月光或星光的照射和目标物对照射光的反射大小。目标与背景的对比度,决定于它们之间反射率的差别。微光仪器的设计,根据经验,按月光条件设计(也就是说,根据月光或星光的光谱分布,绿色植物的光谱反射率,象增器的光谱特性得到三者的光谱积,从而得到月光作为设计条件较为有利。)背景与目标的调制度,就其具体对象不同有着较大的变化。例如绿色植物的反射峰值0.8微米,峰值达60~65%,而平均反射率为45%左右,金属屋顶的反射率有50%,水面的反射率为3%,柏油马路的路面反射率为4%,黄土的反射率为80%,沙土的反射率为60%等等。假定夜间观察坦克,在月光下,目标坦克的反射率为18%,背景的反射率为35%,则可算出目标与背景的调制度为:

$$M = \frac{35 - 18}{35 + 18} = 0.32。$$

但是,一般情况下,观察目标与背景的调制度为0.3左右。我们也以0.3的调制度

作为计算的依据。

目前象增强器的传递能力如何呢?图3.30是典型的三级象增器的MTF曲线。由该图可以知道,象增强器只能传递低频部分,即0~30线对/mm之内的各种频率。例如荷兰的xx 1340象增强器(3×18/18FP)是静电聚焦的校正畸变的三级级联管,它的轴上的调制传递函数为下表所示。

7.5 线对/mm	最小 65%
16 线对/mm	最小 35%
20 线对/mm	最小 20%

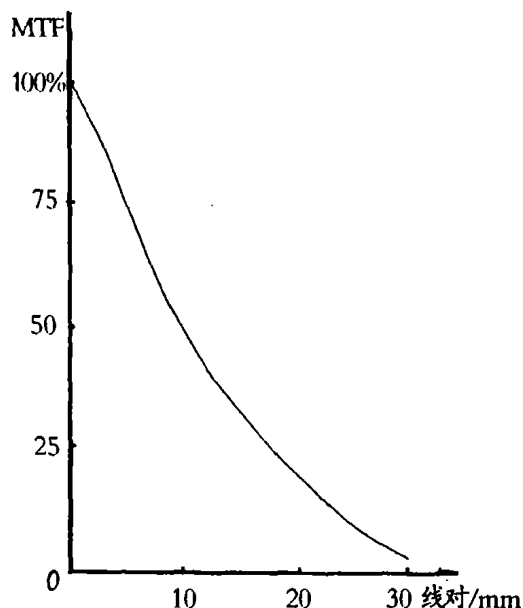


图 3.30 典型的三级象增强器的 MTF

人眼分辨各种频谱的能力各不相同,这一点可以从图1.11清楚地看到。从图中可以得到象场亮度是影响人眼察觉的一个因素;空间频率越高,越需要有较大的调制度(或称对比度)才能察觉;对于夜间视觉,象场亮度一般不大于 10^{-2} 尼特,因此夜间视觉的人眼较佳频率在2~5周/度;象场亮度提高到 10^{-1} 尼特,曲线出现最低点,因此人眼的白昼视觉的较佳频率在5

~ 8周/度。人眼的分辨能力随着亮度的改变会有较大的变化。假定月光下观察,则观察目标与背景的调制度为 0.3。人眼能分辨的调制度取为 0.08。取 5周/度作为人眼夜间观察的特征频率。假定某一微光观察镜的物镜焦距为 $f' = 200$, $\frac{D}{f} = 1:1$;象增强器的放大率为 $\Gamma_{\text{管}} = 0.82$;系统的总放大率为 $5\times$;那么目镜的焦距为:

$$\frac{f'_{\text{物}}}{f'_{\text{目}}} \times \Gamma_{\text{管}} = 5, f'_{\text{目}} = \frac{f'_{\text{物}} \times \Gamma_{\text{管}}}{5} = \frac{200 \times 0.82}{5} = 32.8$$

因此,取 5周/度作为人眼的特征频率时,象增器输出端上一个线对所对应于人眼的夹角为:

$$\alpha = \frac{60'}{5} = 12';$$

象增强器输出端上每一线对的宽度为:

$$b = \alpha \cdot f'_{\text{目}};$$

因而在象增器输出端上每毫米线对数为:

$$n' = \frac{1}{\alpha \cdot f'_{\text{目}}} = \frac{1}{12 \times 0.0003 \times 32.8} = 8.5 \text{ 线对/mm。}$$

象增强器的放大率为 0.82,因此在象增强器的输入端上的每毫米线对数为:

$$n = \Gamma_{\text{管}} \cdot n' = 8.5 \times 0.82 = 7 \text{ 线对/mm。}$$

式中, n —象增强器输入端上的每毫米线对数;

n' —象增强器输出端上的每毫米线对数;

$\Gamma_{\text{管}}$ —象增强器的放大率;

$f'_{\text{目}}$ —目镜的焦距值;

$f'_{\text{物}}$ —物镜的焦距值。

从以上可知,为了使象增强器与人眼特性相匹配,目镜的焦距值不能太小。取 5周/度作为特征频率时, $n' = 8.5$ 线对/mm,取象增强器的 MTF = 70%,景物的调制度按 30% 考虑,要求物镜、目镜的调制传递函数为多少呢?假设物镜与目镜的调制传递函数值相等,那末,

$$M_{\text{景}} \cdot \text{MTF}_{\text{物}} \cdot \text{MTF}_{\text{管}} \cdot \text{MTF}_{\text{目}} = M_{\text{眼}} \quad \dots\dots\dots(3.65)$$

$$\begin{aligned} \text{MTF}_{\text{物}} \cdot \text{MTF}_{\text{目}} &= \frac{M_{\text{眼}}}{M_{\text{景}} \cdot \text{MTF}_{\text{管}}} \\ &= \frac{0.08}{0.3 \times 0.7} = 0.38, \end{aligned}$$

$$\text{MTF}_{\text{物}} = \text{MTF}_{\text{目}} = \sqrt{0.38} = 0.62。$$

式中, $M_{\text{景}}$ —景物的调制度,

$\text{MTF}_{\text{物}}$ —物镜的调制传递函数;

$\text{MTF}_{\text{管}}$ —象增强器的调制传递函数;

$\text{MTF}_{\text{目}}$ —目镜的调制传递函数;

$M_{\text{眼}}$ —人眼的调制度察觉值。

以上计算告诉我们,物镜和目镜的特征频率分别为:7 线对/mm,8.5 线对/mm。它们的调制传递函数值为 62%。

该微光观察镜轴上的 MTF 值按 $M_{\text{景}} = 0.3$ 计算,0.7 ω 处按 $M_{\text{景}} = 0.75$ 进行计算,则全系统轴上的 MTF 值为:

$$\text{MTF}_{\text{系}} = \frac{M_{\text{眼}}}{M_{\text{景}}} = \frac{0.08}{0.30} = 0.27$$

全系统 0.7 ω 的 MTF 值为:

$$\text{MTF}_{\text{系}} = \frac{M_{\text{眼}}}{M_{\text{景}}} = \frac{0.08}{0.75} = 0.11,$$

0.7 ω 处物镜、目镜的 MTF 值的计算:

取 $M_{\text{景}} = 0.75$, $\text{MTF}_{\text{管}} = 0.4$, $\text{MTF}_{\text{物}} = \text{MTF}_{\text{目}}$,从式(3.65)可得:

$$\text{MTF}_{\text{物}} = \text{MTF}_{\text{目}} = \sqrt{\frac{M_{\text{眼}}}{\text{MTF}_{\text{管}} \cdot M_{\text{景}}}} =$$

$$\sqrt{\frac{0.08}{0.75 \times 0.4}} = 0.52。$$

此微光观察镜能观察多远呢?我们认为相应于发现、识别和分清一个静止目标的空间频率为1:4:8。也就是说为了能发现目标,观察系统应能分辨空间频率为1线对/目标宽度,识别则为4线对/目标宽度,分清则为8线对/目标宽度。比如,要分清2.7米高的轻型坦克,就是要分辨2.7米高的目标的八分之一。这八分之一的目标经系统成象,由目镜出来被人眼接收并且应能被人眼分辨,则应大于或等于12'(取5周/度作为夜间人眼较佳频率)。目镜焦距确定为 $f'_{目} = 32.8$,在象增强器的输出端上的每一线对宽为 $b' = 0.1176$,从而得输入端的每一线对宽为:

$$b = \frac{0.1176}{0.82} = 0.1435$$

由图 3.31 可得:

$$S = \frac{S'}{b}B,$$

$$\because f_{物} = S',$$

$$\therefore S = \frac{f_{物}}{b}B = \frac{200 \times 2.8/8}{0.1435} = 470 \text{ 米}$$

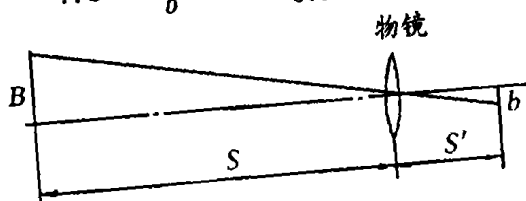


图 3.31 物镜的成象关系

式中, $f_{物}$ —物镜焦距

B —物高的八分之一

b —物高八分之一经物镜成象的象高。

综上所述,该微光观察镜分清坦克的作用距离为470米。提出该微光物镜的特征频率为7线对/mm,该微光目镜的特征频率为8.5线对/mm,微光观察系统的特

征频率为5周/度。

为适应观察0.75~0.3以内低对比度的景物,选取目镜、物镜和全系统在特征频率下的MTF检验指标为:

物镜		
MTF	频率	7线对/mm
位置	轴上	65%
	0.7 r'	52%

目镜		
MTF	频率	8.5线对/mm
位置	轴上	65%
	0.7 r'	52%

全系统		
MTF	频率	5周/度 mm
位置	轴上	28%
	0.7 ω'	10%

考虑透镜的加工误差,物镜、目镜和整机的装配误差,因而物镜、目镜和整机的MTF值的设计指标均按检验指标增加10%考虑,这里不列表说明了。

再举一例,红外观察镜 $f_{物} = 110$, $f_{目} = 23$,红外变象管的放大率 $\Gamma_{管} = 0.62$,要求能分清2.7米高的轻型坦克,取人眼观察的特征频率为5周/度(即每个周期为12'),在红外管荧光屏上分辨的每一线对宽 $b' = a \cdot f_{目} = 12 \times 0.0003 \times 23 = 0.083$ 。

$$n' = \frac{1}{b'} = \frac{1}{0.083} = 12 \text{ 线对/mm,}$$

换算到阴极面上为:

$$b = \frac{0.083}{0.62} = 0.1339,$$

$$n = \frac{1}{b} = \frac{1}{0.1339} = 7.5 \text{ 线对/mm.}$$

目方的12'换算到物镜象面上大约为0.1339。为了分清目标,则应能分辨八分之一

的目标高度,就是说八分之一的目标物高应与物镜象面上的 0.1339 相对应,从而得:

$$S = \frac{f'_{\text{物}} \cdot B}{b} = \frac{110 \times 2.7/8}{0.1339} = 275 \text{ 米。}$$

设红外管在特征频率 12 线对/mm 的 MTF 为 70%,人眼的调制度察觉值 $M_{\text{眼}} = 0.08$,目标物坦克与景物的红外反射率不同,一般情况下它们的调制度较高,但是为了较低的调制度下也能使用,取 $M_{\text{景}} = 0.3$,因为有公式:

$M_{\text{景}} \cdot \text{MTF}_{\text{物}} \cdot \text{MTF}_{\text{管}} \cdot \text{MTF}_{\text{目}} = M_{\text{眼}}$
将数值代入上式,则得:

$$\begin{aligned} \text{MTF}_{\text{物}} = \text{MTF}_{\text{目}} &= \sqrt{\frac{M_{\text{眼}}}{M_{\text{景}} \cdot \text{MTF}_{\text{管}}}} \\ &= \sqrt{\frac{0.08}{0.3 \times 0.7}} = 0.62 \end{aligned}$$

用前例同样的方法可以计算出 $0.7y'$ 处的 MTF 值,而且与前例数值相同。

综上所述,该系统看清 2.7 米高轻型坦克的最大距离为 275 米。这里计算的最大距离的前提是物镜口径足够大或红外光源照射足够远。提出该红外观察镜物镜的特征频率为 7.5 线对/mm,目镜的特征频率为 12 线对/mm,全系统的特征频率为 5 周/度。目镜、物镜、全系统在特征频率下的 MTF 检验指标分别为(与微光系统取同样的值):

目镜

位置	MTF 频率	12 线对/mm
轴上		65%
$0.7y'$		52%

物镜

位置	MTF 频率	7.5 线对/mm
轴上		65%
$0.7y'$		52%

全系统

位置	MTF 频率	5 周/度
轴上		28%
0.7ω		10%

考虑透镜的加工误差,物镜、目镜的装配误差,因而物镜、目镜的 MTF 值的设计指标均按检验指标增加 10% 考虑,这里不列表说明了。

从以上的分析可以清楚地知道,在目前情况下,不管是红外变象管还是微光象增强器,其 MTF 的截止频率均在 30 线对/mm 左右。考虑管子的生产实际,又为了适应人眼的特性,这类仪器的目镜焦距不能太小,一般在 30mm 左右为合适;其它条件相同的情况下,增大物镜焦距能增大观察距离;观察系统的特征频率,根据人眼特性一般应该定为 5 周/度,物镜和目镜的特征频率随它们的焦距而异,但特征频率下的 MTF 值均应取 65% 左右。轴外 MTF 值下降不能太快,因为象增强器的轴外 MTF 下降较快,为补偿象增强器的 MTF 较低,物镜、目镜必须有高的 MTF 值,不然轴外就无法进行观察。

6、投影电视物镜的评价

电视接收机(简称电视机)发展很快,在国内,六十年代普及黑白电视机,七十年代发展小屏幕彩电,八十年代大屏幕彩电进入千家万户,九十年代屏幕更大的彩电面市,就出现了投影电视。目前,国际市场上已经大量销售投影电视。投影电视可分为正投式投影电视和背投式投影电视,而正投投影电视又可根据其投影屏幕大小分为 72 英寸、100 英寸等几种规格。背投式投影电视根据其投影屏幕大小分为:42 英寸、48 英寸、52 英寸等等几种规格。投影电

视的工作原理如图 3.32、图 3.33 所示。正投式投影电视成象的原理如图 3.32 所示,接收的图象信号分红、绿、蓝三色分别显示在三个投影显象管荧光屏上,荧光屏上的高亮度图象通过投影物镜投射在电视屏幕上。背投式投影电视成象原理如图 3.33 所示。接收的电视图象信号分红、绿、蓝三色分别显示在三个投影显象管荧光屏上,荧光屏上的高亮度图象通过投影物镜和反光镜,将图象投射在电视屏幕上(该屏幕由菲涅尔透镜和小柱面镜组成),供人们观看。

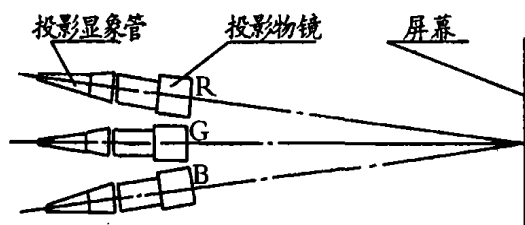


图 3.32 正投式投影电视成象原理

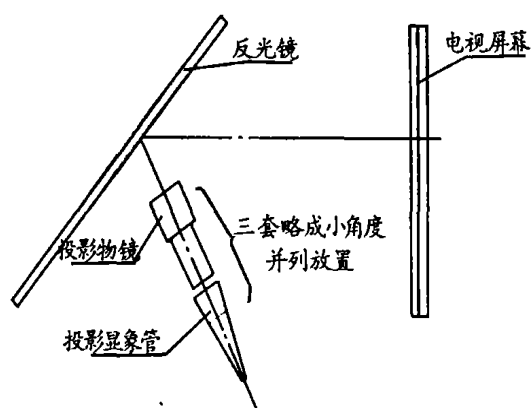


图 3.33 背投式投影电视成象原理

我们考虑电视图象质量,应该是达到高清晰度。人们在看电视时,坐得离屏幕太远或太近都会感到视觉疲劳。在观察高速运动景物时,离屏幕 $4H$ 距离为宜(H 为电视屏的高度尺寸),如果景物移动不是特别快,离屏幕近一些为宜。对高清晰度电视来说,应保证在 $3H$ 处观察时,也能有很好的图象质量。日本广播协会研究所通过对高

清晰度电视的主观图象质量进行系统的视觉生理学研究,得出在中等亮度和中等对比度下观察静止图象时,分辨角在 $1.5'$ 左右,而对运动图象,分辨角还要大一些。加之用电视观看图象均在室内,亮度较暗。因此,我们取 $3'$ 为电视屏幕上的 MTF 的特征频率换算依据。

(1)3 英寸投影显象管正投式投影电视物镜的 MTF 评价

3 英寸投影显象管正投式投影电视,其成象原理如图 3.32 所示。3 英寸投影显象管的荧光屏有效尺寸为 $\phi 67\text{mm}$,投影屏采用 72 英寸。一般的电视屏幕宽高比为 $4:3$,高清晰度电视屏幕最佳宽高比在 $5:3$ 到 $2:1$ 之间。目前市场上销售的彩色电视机,包括投影电视机,绝大多数屏幕宽高比采用 $5:4$ 。考虑到投影电视的发展和对投影物镜的高要求,我们按照宽高比 $5:3$ 进行计算,从而可得到 H 值。详见图 3.34 所示,根据图可得 $H \approx 941\text{mm}$ 。如前所述,人在 $3H$ 位置,即 2823mm 处观看电视对人眼的张角以 $3'$ 考虑(根据人眼观察阈与调制度曲线),从而得到屏幕上的线对宽为 a ,如图 3.35 所示。

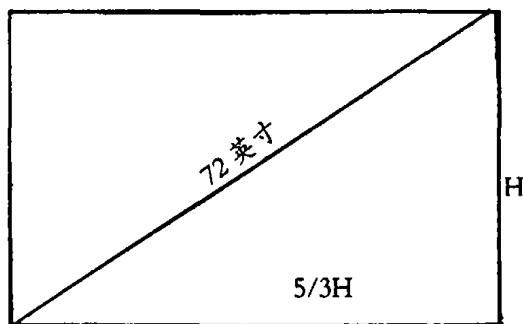


图 3.34 72 英寸屏幕尺寸

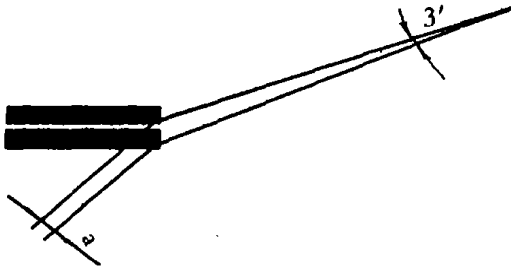


图 3.35 人眼 3' 张角对应屏幕上线对宽

$$\tan 3' = \frac{a}{2823},$$

$$a = 0.0003 \times 3 \times 2823 \approx 2.5\text{mm}。$$

进而得到投影电视物镜在屏幕上的 MTF 的特征频率 $N = \frac{1}{a} = \frac{1}{2.5} = 0.4$ 线对/mm。

下面介绍如何计算特征频率下的 MTF 值。在特征频率下投影显象管荧光屏中心的对比度假定为 0.29(也是对投影显象管提出的要求,如照相用的八级灰板,其对比度为 0.29),根据中国科学院生物物理研究所,人眼的调制传递函数曲线,选取人眼能觉察出的对比度为 0.08(空间频率 20 周/度,屏幕亮度为 1 ~ 10 尼特所对应的对比度)。根据投影电视的成象关系,有

$$M_{\text{管}} \cdot MTF_{\text{物镜}} \cdot M_{\text{三镜象重合度}} \cdot M_{\text{屏幕}} = M_{\text{人眼}}$$

式中, $M_{\text{管}}$ — 投影显象管荧光屏对比度;

$MTF_{\text{物镜}}$ — 物镜的 MTF 值;

$M_{\text{三镜象重合度}}$ — 三个投影显象管的投影象在屏幕上不重合度引起的对比度下降;

$M_{\text{人眼}}$ — 人眼观看屏幕能觉察的对比度;

$M_{\text{屏幕}}$ — 屏幕引起的对比度下降。

我们取 $M_{\text{三镜象重合度}} = 0.7$, $M_{\text{屏幕}} = 0.7$, $M_{\text{管}} = 0.29$, $M_{\text{人眼}} = 0.08$, 代入上式得

$$MTF_{\text{物镜}} = \frac{0.08}{0.29 \times 0.7 \times 0.7} = 56\%。$$

投影显象管荧光屏边缘的对比度会差一点,不能等同于中心点,我们以 0.7 视场对比度按 0.7 考虑,则可得到物镜 0.7 视场的 MTF 值为

$$MTF_{\text{物镜}} = \frac{M_{\text{人眼}}}{M_{\text{管}} \cdot M_{\text{三镜象重合}} \cdot M_{\text{屏幕}}} = \frac{0.08}{0.7 \times 0.7 \times 0.7} = 24\%$$

考虑到投影物镜的零件加工及其装配误差对 MTF 值的影响,加 10% 左右的 MTF 值,从而得到 3 英寸投影显象管的 72 英寸屏幕的正投式投影物镜 MTF 值(计算值)为:轴上 65%, 0.7 视场 35%。

为了便于光学计算和产品的检测,把屏幕上的特征频率换算到 3 英寸投影显象管荧光屏上的特征频率,则有 0.4 线对/mm $\times$ 物象放大倍率 $= 0.4 \times \frac{72 \times 25.4}{67} = 11$ 线对/mm。从而得出投影物镜在荧光屏上的 MTF 要求:

MTF 位置	频 率	检验指标	设计指标
		11 线对/mm	11 线对/mm
轴上		56%	65%
0.7y'		25%	35%

(2) 3 英寸投影显象管背投式投影物镜的 MTF 评价

3 英寸投影显象管背投式物镜的物象共轭距为 900 ~ 1000mm, 我们的设计值为 974mm, 屏幕采用 48 英寸(即 $48 \times 25.4 = 1219.2\text{mm}$), 电视投影屏幕的宽高比也按 5:3 考虑(目前市场上销售的投影电视宽高比 5:4, 选用 5:3 是考虑发展趋向, 提高要求), 从而可计算得到 H 值, 详见图 3.36 所示。根据图得 $H = 627.3\text{mm}$, 人在 3H 位置观看电视, 以对人眼的张角 3' 来计算特征频率, 从而得到屏幕上的线对宽为:

$$a = 3 \times 0.0003 \times 3H = 0.0009 \times 3 \times 627.3 \\ = 1.7\text{mm}$$

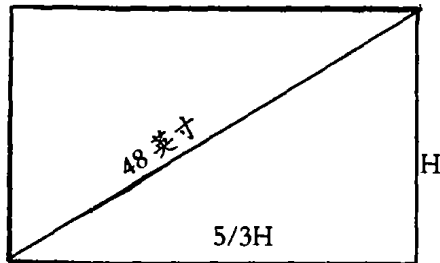


图 3.36 48 英寸屏幕尺寸

这样一来,投影物镜在屏幕上的 MTF 的特征频率为:

$$N_{\text{幕}} = \frac{1}{a} = \frac{1}{1.7} = 0.6 \text{ 线对/mm}。$$

把屏幕上的 MTF 特征频率换算到 3 英寸投影显象管的荧光屏上,则有:

$$N_{\text{管}} = N_{\text{幕}} \times \text{物象放大倍数} \\ = 0.6 \times \frac{48 \times 25.4}{67} = 11 \text{ 线对/mm}。$$

背投式投影电视与正投式投影电视略有差别,在系统中增加了反光镜反射面对图象对比度的影响因素。我们取反光镜引起对比度下降 $M_{\text{反}} = 0.9$,如前述正投式的公式,只增加一项 $M_{\text{反}}$,特征频率下物镜轴上的 MTF 值为:

$$\text{MTF}_{\text{物镜}} = \frac{M_{\text{人眼}}}{M_{\text{管}} \cdot M_{\text{反}} \cdot M_{\text{三镜象重合度}} \cdot M_{\text{屏幕}}} \\ = \frac{0.08}{0.29 \times 0.9 \times 0.7 \times 0.7} \\ = 62.5\%$$

物镜 0.7 视场的 MTF 为:

$$\text{MTF}_{\text{物镜}} = \frac{M_{\text{人眼}}}{M_{\text{管}} \cdot M_{\text{反}} \cdot M_{\text{三镜象重合度}} \cdot M_{\text{屏幕}}} \\ = \frac{0.08}{0.7 \times 0.9 \times 0.7 \times 0.7} = 26\%$$

考虑到投影物镜的零件加工及其装配误差引起的 MTF 值下降,加 10% 左右 MTF 值从而得到设计值。其检验指标和设计指

标示于下表。

MTF 位置	频率	检验指标	设计指标
		11 线对/mm	11 线对/mm
轴上		62%	70%
0.7y'		26%	35%

(3)7 英寸投影显象管背投式投影物镜的 MTF 评价

7 英寸投影显象管荧光屏尺寸(对角线)为 157.5mm,投影屏幕采用 48 英寸(即 1219.2mm),物象放大倍数为: $1219.2 \div 157.5 = 7.8^{\times}$

特征频率的确定

48 英寸的投影屏幕对角线尺寸为 1219.2mm,屏幕的宽高比选取 5:3,从而得到电视屏幕高度 $H = 627.3\text{mm}$ 。与前面同理可得投影物镜在投影屏幕上的 MTF 的特征频率为 $N_{\text{幕}} = 0.6 \text{ 线对/mm}$, $N_{\text{管}} = N_{\text{幕}} \times \text{物象放大倍数} = 0.6 \times \frac{48 \times 25.4}{157.5} = 4.6 \div 5 \text{ 线对/mm}。$

特征频率下 MTF 值的确定

MTF 值的计算与 3 英寸投影显象管背投式投影物镜 MTF 值计算是相同的,这里不再重复。从而可以得到 7 英寸投影显象管 48 英寸屏幕背投式投影物镜的 MTF 值检验指标和设计指标,如下表所示。

MTF 位置	频率	检验指标	设计指标
		5 线对/mm	5 线对/mm
轴上		62%	70%
0.7y'		26%	35%

7、望远系统的评价

望远镜是用来扩大人眼的视角,帮助人们观察远距离目标的光学仪器。它一般由物镜、棱镜和目镜三部分组成。远距离目标经物镜成象在目镜焦面上,然后经目镜

放大后由人眼接收,棱镜只起倒象使用。望远镜按放大率可分为高倍率、中倍率、低倍率。按用途又可分为陆地用的、海洋用的、观剧用的等等。不同的观察条件,其人眼的特性也会随之改变。最经常使用的是陆地用的望远镜,它的使用条件是白天、野外的景物。我们以8倍望远镜($f_{\text{物}} = 124, f_{\text{目}} = 15.5$)为例,具体地加以分析。白天的野外景物调制度为0.3~0.7,考虑用望远镜观察有强的体视感、真实感,选取景物的调制度 $M_{\text{景}} = 0.3$ 。白昼人眼的最佳频率在5~8周/度,我们取8周/度作为系统的特征频率,使与人眼的最佳频率相匹配。人眼的察觉阈随着景物的亮度和调制度而异(从图1.11可以看出),这里取人眼分辨低对比度的能力为8%(条件良好的情况下也有取 $M = 5\%$ 或 3% 作为察觉阈值的),并假定不考虑大气的传递损失。在此情况下,系统的传递函数是:

$$M_{\text{景}} \cdot \text{MTF}_{\text{望}} = M_{\text{眼}} \quad \dots\dots\dots(3.66)$$

$$\text{MTF}_{\text{望}} = \frac{M_{\text{眼}}}{M_{\text{景}}} = \frac{0.08}{0.3} = 0.27$$

式中, $M_{\text{景}}$ — 景物的调制度,

$M_{\text{眼}}$ — 人眼的调制度察觉阈值,

$\text{MTF}_{\text{望}}$ — 望远镜的调制传递函数。

轴外视场的 MTF 值应该取多少呢?望远镜是供人们观察野外景物用的,观察点可以根据人们的愿望随时改变。它与照相物镜的要求不同,它在观察外界景物时,观察点以外的景物仅作陪衬用。当然,也不是说没有要求,是有一定要求的,一片模糊的景物是不允许的。允许低对比度的细节可以看不清,但是较高对比度的景物应该能看清。我们取景物的对比度 $M = 0.7$ 作为 0.7ω 视场的计算依据,则得 0.7ω 视场处

的调制传递函数为:

$$\text{MTF}_{\text{望}} = \frac{M_{\text{眼}}}{M_{\text{景}}} = \frac{0.08}{0.7} = 0.12$$

综上所述,提出8倍双筒望远镜的特征频率为8周/度,在特征频率下的MTF检验指标为:

MTF 位置	频率	8周/度
轴上		30%
$0.7\omega^*$		12%

考虑到透镜、棱镜的加工误差,望远镜的装配误差,提出8倍双筒望远镜的设计指标为:

MTF 位置	频率	8周/度
轴上		36%
0.7ω		20%

* 考虑人眼有调节作用,望远镜 0.7ω 处的测量允许与测量轴上时的目镜视度不同。

我们把几种望远镜的测试数据列于下面各表中,测试数据说明,提出的检验指标基本上是符合生产、使用实际的。

云南光学仪器厂 8×30 双筒望远镜(白光传函)

MTF 位置	频率	4周/度	6周/度	8周/度
轴上		37%	37%	35%
ω		12%	1%	1%

云南光学仪器厂 7×21 直筒双望(白光传函)

MTF 位置	频率	4周/度	6周/度	8周/度
轴上		84%	76%	67%
0.7ω		45%	23%	13%

德国 Leitz 10 × 40 双筒望远镜(白光传函)

MTF 频率 位置	4 周 / 度	6 周 / 度	8 周 / 度
轴上	70%	58%	48%
0.7ω	40%	26%	15%

用光学传递函数作为光学系统的质量评价标准,是十分可靠和准确的评价标准,提出单一值评价,根据使用条件确定评价的特征频率,然后确定特征频率下的光学传递函数值。提出单一值评价,数字简单、明了,便于光学设计者在设计过程中的校正和平衡,也便于对光学系统进行测量和鉴定。

文中谈到的 MTF 值是指的多色光或

白光的 MTF 值,在设计过程中为了减少计算的工作量,用三种谱线来计算,代替多色光,如照相物镜的 C、D、g 谱线,可按以下公式计算 MTF:

$$MTF = K_C \cdot MTF_C + K_D \cdot MTF_D + K_g \cdot MTF_g \quad \dots\dots\dots(3.67)$$

式中 K_C 、 K_D 、 K_g 分别为 C、D、g 谱线 MTF 的系数。一般可取 $K_C = K_g = 0.25$, $K_D = 0.5$ 。

MTF_C 、 MTF_D 、 MTF_g 分别为 C、D、g 谱线的调制传递函数 MTF 值。轴外计算的 MTF 值有子午和弧矢两个方向,计算时按下式:

$$MTF = \frac{MTF_t + MTF_s}{2} \quad \dots\dots\dots(3.68)$$

(未完待续)

消息

单光子计数传感器阵列

固本单光子计数雪崩光电二极管可用于荧光衰变实验和其它用途。它们发展的下一步应该是低噪声的微型探测器阵列,然而,这种发展却受到了器件之间的串话的阻挠。爱尔兰国立大学的研究人员正在对这种探测器之间的串话进行建模并通过测试来验证他们的模型。

这种阵列的集成方式是产生问题的原因之一。因为当阵列在二极管的击穿电压处操作(雪崩操作)时,硅会发光,后者会导致探测器晕光。这种阵列的像元同时需要光学上和电学上的绝缘(形体上的分离可达到某种程序的光学绝缘,有源猝灭电路对其也有帮助)。一个间距为 $165\mu\text{m}$ 的 1×10 元的阵列其相邻像元之间呈现出明显的串话,但非相邻的像元之间却没有串话,这说明 $330\mu\text{m}$ 是合适的分隔距离。温度每降低 27°C ,暗计数器便提高一个数量级。直径为 $15\mu\text{m}$ 和 $15\mu\text{m}$ 以下的传感器适合室温操作。

(摘自《红 外》)